·论著·

高能量激光联合特定运动疗法对特发性脊柱侧凸伴腰痛患者多裂肌超声形态学的影响

孙晓蕾[1,2]，雷晓龙[3]，林佳声[4]，李克良[5]，郭澳[2]，张晓辉[6*]

【摘要】 **背景** 青少年特发性脊柱侧凸（AIS）是影响脊柱活动及躯干对称性的进展性三维骨骼畸形，曾经学者认为青少年特发性脊柱侧凸不伴有疼痛，但最近的研究显示约有31.5%的患者伴有腰背疼痛。腰背痛产生的原因可能是由于椎旁肌失衡及疲劳等因素所致。**目的** 应用肌骨超声观察AIS伴腰部疼痛患者在高能量激光疗法（HILT）联合脊柱侧凸特定运动疗法（PSSE）治疗后主弯顶椎旁多裂肌形态变化，评价联合治疗对椎旁肌失衡纠正的临床效果。**方法** 选取2020年12月—2021年12月哈尔滨市第五医院脊柱侧弯矫治中心收治的青少年特发型脊柱侧凸Rigo E1型患者30例进行随机单盲对照实验，将患者随机分为试验组和对照组；试验组采用HILT联合PSSE，对照组仅采用HILT。两组分别于治疗前与治疗4周后进行肌骨超声检查、视觉模拟量表评分、患者腰椎关节活动范围检查、Roland-Morris腰椎功能障碍问卷调查。采用Pearson相关性分析探究治疗后多裂肌的变化与治疗效果是否存在相关性。**结果** 治疗后试验组多裂肌凹侧横截面积、前屈度、左侧屈度、左旋转度、右旋转度高于对照组（$P<0.05$），试验组治疗后多裂肌凹侧横截面积、凹侧厚度、凹凸侧横截面积比、凹凸侧厚度比、伸展度高于治疗前（$P<0.05$）。两组治疗后VAS评分、RDQ评分均低于治疗前，前屈度、左侧屈度、右侧屈度、左旋转度、右旋转度高于治疗前（$P<0.05$）；对照组治疗后伸展度低于治疗前（$P<0.05$）。Pearson相关性分析显示，治疗后凹凸侧多裂肌横截面积比与治疗后腰椎右旋转度呈负相关（$r=-0.660$，$P<0.01$），治疗后凹凸侧多裂肌厚度比与治疗后腰椎右侧屈度呈负相关（$r=-0.614$，$P<0.05$）。**结论** 高能量激光联合脊柱侧凸特定运动疗法可使脊柱侧凸顶椎凹侧多裂肌形态改变，减轻腰部疼痛，增加腰椎活动度及降低腰椎功能障碍，提高日常生活能力；单独使用高能量激光虽对多裂肌形态变化影响不明显，但可有效缓解脊柱侧凸引起的下腰痛。脊柱两侧多裂肌形态趋于平衡对改善腰椎侧屈与旋转功能具有积极作用。

【关键词】 脊柱侧凸；青少年；脊柱疾病；激光疗法；运动疗法；腰痛；超声检查；椎旁肌

【中图分类号】 R 682.3 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0171

【引用本文】 孙晓蕾，雷晓龙，林佳声，等.高能量激光联合特定运动疗法对特发性脊柱侧凸伴腰痛患者多裂肌超声形态学的影响[J].中国全科医学，2023.[Epub ahead of print].DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0171.[www.chinagp.net]

SUN X L，LEI X L，LIN J S，et al. Effect of high intensity laser combined with physiotherapy scoliosis specific exercise therapy on ultrasound morphology of multifidus muscles in idiopathic scoliosis patients with low back pain [J]. Chinese General Practice，2023.[Epub ahead of print].

Effect of High Intensity Laser Combined with Physiotherapy Scoliosis Specific Exercise Therapy on Ultrasound Morphology of Multifidus Muscles in Idiopathic Scoliosis Patients with Low Back Pain

SUN Xiaolei[1,2]，*LEI Xiaolong*[3]，*LIN Jiasheng*[4]，*LI Keliang*[5]，*GUO Ao*[2]，*ZHANG Xiaohui*[6*]

1.Department of Rehabilitation Medicine，the Fifth Hospital of Harbin City，Harbin 150000，China

2.Graduate School，Harbin Sport University，Harbin 150000，China

3.Department of Physical Diagnostics，the Fifth of Harbin City，Harbin 150000，China

4.Department of Spinal Surgery，the Fifth of Harbin City，Harbin 150000，China

5.Teacher Development Centre，Harbin Sport University，Harbin 150000，China

6.Department of Sports Medicine，Guangzhou Sport University，Guangzhou 510500，China

基金项目：黑龙江省卫生健康委课题（20212020010383）；广东省2019年度普通高校重点科研平台和项目（2019GCZX009）；广东省重大科技协同创新专项子课题（2019B110210004）

1.150000 黑龙江省哈尔滨市，哈尔滨市第五医院康复医学科 2.150000 黑龙江省哈尔滨市，哈尔滨体育学院研究生院 3.150000 黑龙江省哈尔滨市，哈尔滨市第五医院物理诊断科 4.150000 黑龙江省哈尔滨市，哈尔滨市第五医院脊柱外科 5.150000 黑龙江省哈尔滨市，哈尔滨体育学院教师教学发展中心 6.510000 广东省广州市，广州体育学院运动医学室

*通信作者：张晓辉，副教授；E-mail：protsmedzxh@sina.com

本文数字出版日期：2023-05-24

*Corresponding author: ZHANG Xiaohui, Associate professor; E-mail: protsmedzxh@sina.com

【Abstract】 **Background** Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is a progressive three-dimensional skeletal deformity that affects spinal mobility and trunk symmetry. It was previously believed that AIS was not accompanied with pain, but recent studies have shown that approximately 31.5% of the patients complain of low back pain, which may due to factors such as paravertebral muscle imbalance and fatigue. **Objective** To observe morphological changes of paravertebral multifidus muscles at the top of the main curvature after high energy laser therapy (HILT) combined with physiotherapy scoliosis specific exercise (PSSE) in AIS patients with low back pain by using musculoskeletal ultrasound. and evaluate the clinical effect of treatment on the correction of paravertebral muscle imbalance. **Methods** A total of 30 patients with AIS RigoE1 admitted to the Scoliosis Correction Center of the Fifth Hospital of Harbin from December 2020 to December 2021 were selected for a randomized single-blind controlled trial and divided into the experimental group and control group, the experimental group was treated with HILT combined with PSSE, and the control group was only treated with HILT. Musculoskeletal ultrasound, visual analogue scale (VAS) scores, range of motion of the patient's lumbar joints and Roland-Morris lumbar spine dysfunction questionnaire (RDQ) were performed before and 4 weeks after treatment in both groups. Pearson correlation analysis was used to investigate whether there was a correlation between the changes in the multifidus muscles after treatment and the treatment effect. **Results** The cross-sectional area of the convex side of multifidus muscles, anterior flexion, left lateral flexion, left rotation and right rotation of the experimental group were higher than those of the control group after treatment ($P<0.05$), the cross-sectional area and thickness of multifidus muscles on the concave side, the cross-sectional area and thickness ratios of multifidus muscles on the concave and convex sides, extension after treatment were higher than those before treatment in the experimental group ($P<0.05$). VAS scores and RDQ scores after treatment were lower than those before treatment, and anterior flexion, left lateral flexion, right lateral flexion, left rotation and right rotation were higher than those before treatment ($P<0.05$) in both two groups. The extension after treatment was lower than that before treatment in the control group ($P<0.05$). Pearson correlation analysis showed that the cross-sectional area ratio of multifidus muscles on the concave and convex sides was negatively related with right rotation of the lumbar spine after treatment in the experimental group ($r=-0.660$, $P<0.01$), the thickness ratio of the concave and convex sides of multifidus muscles was negatively related with right flexion of the lumbar spine ($r=-0.614$, $P<0.05$). **Conclusion** HILT combined with PSSE can change the morphology of the multifidus muscles on the concave side of the parietal vertebrae of scoliosis, reduce low back pain, increase lumbar spine mobility, reduce lumbar spine dysfunction and improve activities of daily living; the use of HILT alone can effectively relieve low back pain caused by scoliosis, although it has no significant effect on the morphological changes of the multifidus muscles. Balancing the morphology of the multifidus muscles on both sides of the spine has a positive effect on improving the lateral flexion and rotation of the lumbar spine.

【Key words】 Scoliosis; Adolescent; Spinal diseases; Laser therapy; Exercise therapy; Low back pain; Ultrasonography; Paraspinal muscles

青少年特发性脊柱侧凸（adolescent idiopathic scoliosis，AIS）是影响脊柱活动及躯干对称性的进展性三维骨骼畸形[1]。尽管对 AIS 的致病因素尚不明确，但学者普遍认为是多因素影响的结果。已有研究表明，不对称的生物力学特征是脊柱侧凸发生与进展的激惹因素[2]。椎旁肌平衡理论认为，不平衡的椎旁肌可导致 AIS 的发生与发展[3]。椎旁肌长期处于失衡状态，会引起肌肉痉挛、充血水肿，形成无菌性炎症，从而引起腰痛等症状[4]。现有的证据也表明，多裂肌有提高脊柱稳定性的作用[5]，是距离脊柱最近的椎旁肌，多裂肌失衡与脊柱侧凸旋转相关，后者表现的椎旁肌失衡与疼痛密切相关[6]。有研究显示 31.5% 的 AIS 患者会出现腰背痛[7]。腰背痛可能是椎旁肌失衡及疲劳或椎间孔狭窄等因素所致[8]，长期失衡的椎旁肌可出现肌肉痉挛，肌肉充血水肿形成无菌性炎症，产生下腰痛[9]。慢性腰痛可导致患者腰椎关节活动范围（range of motion，ROM）减小，日常生活负担增加，如用药增多、上学工作时间缩短、不能正常活动等；因此需对此类患者进行关注。高能量激光（high intensity laser therapy，HILT）是一种特殊的人造光，其光化效应可通过改善新陈代谢、血液循环，使水肿迅速被吸收，渗出物被排出体外，减轻治疗部位疼痛[10]，近年来在肌骨疾病的物理治疗中被广泛使用。在 AIS 的保守治疗方法中，脊柱侧凸特定运动疗法（physiotherapy scoliosis specific exercises，PSSE）是具有潜在价值的疗法。国际脊柱侧凸矫形与康复治疗学会（SOSORT）治疗指南建议脊柱侧凸患者进行 PSSE，其治疗目的包括防止脊柱侧凸进展、改善呼吸功能、平衡脊柱两侧椎旁肌、预防侧凸引起的疼痛、改善形体外观[11]。课题组前期研究表明，AIS 患者干预后凹凸侧椎旁肌失衡现象获得改善[12]，本课题组前期研究表明，上述两种治疗方案联合或单独使用，均可使 AIS 患者凹凸侧椎旁肌失衡现象获得改善[12]，可减

轻 AIS 合并腰痛患者的症状，可为临床疼痛管理提供更详尽的信息。故本研究对 AIS 患者采用 HILT 联合 PSSE 进行干预，采用肌骨超声技术观察患者治疗前后脊柱侧凸顶椎旁多裂肌的形态变化，并同步评估治疗前后下腰痛情况、ROM 并要求患者填写 Roland-Morris 腰椎功能障碍问卷（RDQ），观察联合治疗对 AIS 的干预作用，以期为 AIS 患者提供新的管理策略和参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象 本研究选取 2020 年 12 月—2021 年 12 月哈尔滨市第五医院脊柱侧弯矫治中心收治的 AIS 患者为研究对象。为排除青春期佩戴支具对骨骼与椎旁肌测量值的影响，本研究拟纳入骨龄成熟已脱支具或没有佩戴支具的患者进行干预，因此纳入标准：（1）确诊为 AIS 患者[13]；（2）Rigo E1 型弯型；（3）Risser 征Ⅴ级女性；（4）主诉在日常生活中患有下腰痛，视觉模拟量表（visual analogue scale，VAS）评分 ≥ 3 分并持续 2 周以上者。排除标准：（1）AIS 术后患者；（2）患有其他性质下腰痛患者；（3）佩戴支具患者。本研究通过哈尔滨市第五医院医学伦理审批（HSWYL2021005），入组患者均签署知情同意书；参与研究人员均具有相关执业医师或康复治疗师资格。根据以上条件，纳入 Rigo E1 型患者 30 例，采用单盲随机对照设计，根据随机数字表法将 30 例患者随机分为试验组和对照组各 15 例。

1.2 研究方法

1.2.1 HILT 两组患者均采用 HILT（意大利 ASAlaser 公司产 MLS®Mphi 型高能量激光），参考 MLS®Mphi 使用手册推荐剂量：25 W 手持高能激光探头，频率 700 Hz，总治疗时长 10 min，治疗强度 100%，输出能量 345.12 J，能量密度 18.32 J/cm^2。治疗方法：使用手持激光治疗探头在凸侧肌肉大面积扫描 4 min，扫描完成后，再针对脊柱侧凸顶椎椎旁肌及产生疼痛的部位结合意大利 FM® 筋膜手法做“米”字型治疗，每部位治疗 30 s；最后再次大范围扫描 3 min。3 次 / 周，共进行 4 周治疗[14]。

1.2.2 PSSE 试验组在采用 HILT 的基础上联合进行 PSSE，参考陈彦求[15]的方案，患者进行右侧桥、Shroth 强化运动、肌肉圆柱运动。同时针对下腰痛，结合功能性康复训练，其中训练动作包括仰卧臀桥、仰卧举腿、躯干平板练习、侧卧位髋外展[16]。在运动治疗门诊进行 PSSE 训练，3 次 / 周，共治疗 4 周。

1.3 评定指标

1.3.1 主要指标 于治疗前、治疗 4 周后对两组患者顶椎两旁多裂肌进行肌骨超声检查[17]，应用美国产飞利浦 EPIQ-5 型彩色多普勒超声诊断仪，探头频率为 1.0~5.0 MHZ，高频探头测量主弯顶椎椎体两侧多裂肌厚度与横截面积，参照 2010 年欧洲肌肉骨骼放射学会超声小组委员会（ESSR）制定的肌骨超声指南[18]，操作步骤如下：患者俯卧位，腹部垫以薄枕，以避免腰椎过度屈曲，双上肢置于身体两侧，根据患者全脊柱 X 线冠状位曲线，确定腰椎主弯顶椎位置后，在体表定位棘突后用记号笔做标记，将超声探头首先置于标记点处，观察到棘突后分别向左、右平移 3 cm 测量椎体两侧多裂肌厚度和横截面积，连续测量 3 次取 平均值，避免测量误差，同一患者治疗前后测量均由同一位肌骨超声医师完成，肌骨超声下顶椎两旁多裂肌形态见图 1。

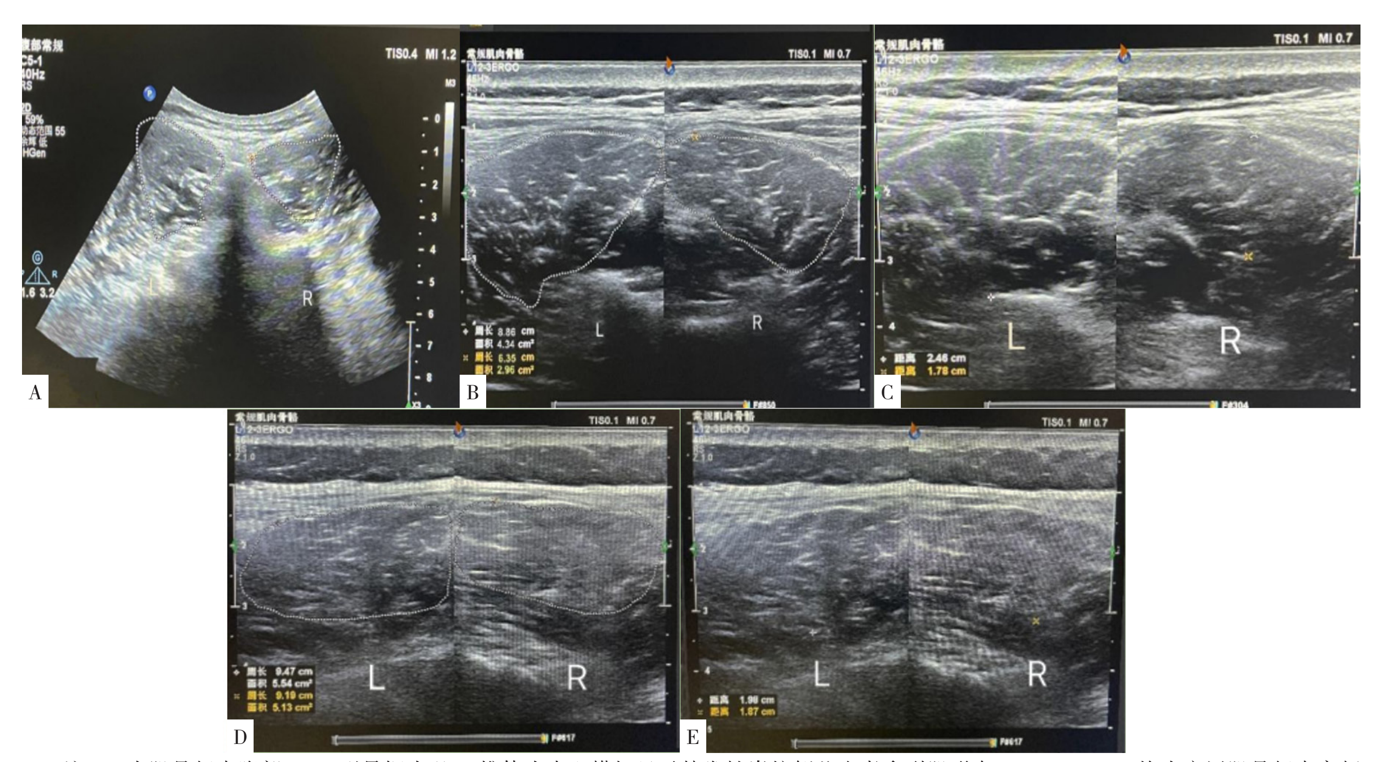
1.3.2 次要指标 在治疗前与治疗 4 周后收集以下指标：（1）采用 VAS 评定患者疼痛程度[19]，由患者标记出与自己腰痛程度相匹配的指数，0 分为无疼痛，10 分为无法忍受的剧烈疼痛；（2）采用 RDQ 对患者腰椎功能进行评定，RDQ 共 24 个问题，每个问题回答“是”得 1 分，“否”得 0 分，总分越高表明腰痛功能障碍越明显[20]；（3）采用关节活动度测量法测量腰椎前屈、伸展、左右侧屈、左右旋转方向活动度，每个平面活动度测 4 次取其平均值。

1.4 统计学方法 数据处理采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析，数据进行正态性检验和方差齐性检验。符合正态分布且方差齐性的数据以（$\bar{x} \pm s$）表示，治疗前后组内比较配对样本 t 检验，组间比较采用独立样本 t 检验；不符合正态分布的数据以〔M（P_{25}，P_{75}）〕表示，组内与组间比较采用非参数秩和检验；进一步将两组凹凸侧横截面积比、凹凸侧厚度比分别与组内 VAS 评分、RDQ 评分、腰椎前屈、后伸、左侧屈、右侧屈、左旋转、右旋转前后进行 Pearson 相关性分析。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较 试验组年龄（15.2 ± 1.7）岁，对照组年龄（16.6 ± 2.2）岁。试验组体质量（49.9 ± 6.6）kg，对照组体质量（54.6 ± 6.3）kg，两组年龄、体质量比较，差异无统计学意义（$t=-1.952$，$P=0.061$；$t=-2.001$，$P=0.055$）。

2.2 治疗后多裂肌变化比较 治疗后试验组多裂肌凹侧横截面积高于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$），试验组治疗后多裂肌凹侧横截面积、凹侧厚度、凹凸侧横截面积比、凹凸侧厚度比高于治疗前，差异有统计学意义（$P<0.05$）。两组治疗前、治疗后凸侧横截面积、凸侧厚度、凹侧厚度、凹凸侧横截面积比、凹凸侧厚度比比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$）；两组治疗前凹侧横截面积比较，差异无统计学意义（$P>0.05$）；试验组治疗前、后凸侧横截面积、凸侧厚度比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$）；对照组治疗前、后凸侧横截面积、凸侧厚度、凹侧横截面积、凹侧厚度、凹凸侧



注：A 为肌骨超声腹部 C5-1 型号探头以 L_2 椎体为中心横切显示特发性脊柱侧凸患者多裂肌形态；B、C、D、E 均为应用肌骨超声高频 eL18-4 型号探头在 L_2 椎体左右 3 cm 分别横切显示多裂肌形态，其中 B、C 特发性脊柱侧凸患者 L_2 多裂肌横截面积、厚度，顶椎凸侧多裂肌横截面积与厚度均明显大于凹侧，患者顶椎两侧多裂肌均出现萎缩现象；D、E 为健康人 L_2 多裂肌横截面积、厚度；A、B、D 图中的虚线框为多裂肌形态。

图 1 肌骨超声下顶椎两旁多裂肌图像

Figure 1 Musculoskeletal ultrasound images of the paravertebral multifidus muscles at the top of the main curvature

横截面积比、凹凸侧厚度比比较，差异均无统计学意义（P>0.05），见表 1。

2.3 治疗后 VAS 评分、RDQ 评分比较 两组治疗前、后 VAS 评分比较，差异无统计学意义（P>0.05）；两组治疗前 RDQ 评分比较，差异无统计学意义（P>0.05）；两组治疗后 VAS 评分、RDQ 评分均低于治疗前，差异均有统计学意义（P<0.05），治疗后两组 RDQ 评分比较，差异有统计学意义（P<0.05），见表 2。

2.4 治疗后腰椎 ROM 评分比较 两组治疗后前屈度、左侧屈度、右侧屈度、左旋转度、右旋转度高于治疗前，差异均有统计学意义（P<0.05）；试验组治疗后伸展度高于治疗前，对照组治疗后伸展度低于治疗前，差异均有统计学意义（P<0.05）；治疗后试验组前屈度、左侧屈度、左旋转度、右旋转度高于对照组，差异均有统计学意义（P<0.05）；两组治疗前前屈度、左侧屈度、左旋转度、右旋转度比较，差异无统计学意义（P>0.05）；两组治疗前、治疗后伸展度、右侧屈度比较，差异无统计学意义（P>0.05），见表 3。

2.5 治疗后多裂肌凹凸侧横截面积比、厚度比与其他临床指标的相关性分析 治疗后凹凸侧多裂肌横截面积比与治疗后腰椎右旋转度呈负相关（P<0.01），治疗后凹凸侧多裂肌厚度比与治疗后腰椎右侧屈度呈负相关（P<0.05），见表 4。

3 讨论

本研究应用 HILT 联合 PSSE 对青少年 AIS 腰部疼痛患者进行干预，采用肌骨超声技术观察患者治疗前后脊柱侧凸顶椎旁多裂肌的形态变化，旨在分析 HILT 联合 PSSE 对患者多裂肌形态改变、疼痛、腰椎活动度、生活质量的影响。结果提示：4 周的 HILT 联合 PSSE 方案能改善 AIS 患者疼痛、活动功能，患者多裂肌的横截面积、厚度凹凸侧比值更趋平衡，且优于单独使用 HILT。

椎旁肌是位于脊柱两旁的肌肉，其最深层为多裂肌。椎旁肌的主要功能是伸展脊柱，并在一定程度上参与脊柱旋转功能，对于保持脊柱直立姿势至关重要。多裂肌横截面积表示肌纤维数量，可反应肌肉的萎缩程度，可用来评估腰部肌肉力量，多裂肌横截面积降低可导致脊柱轴向旋转的减弱和脊柱负载的增加[21]。前期研究认为椎旁肌失衡是导致青少年 AIS 发展的主要因素之一[22]。类似地，本课题组之前的研究表明脊柱两旁多裂肌的厚度可评价其失衡情况，厚度差值与肌肉失衡相关，表明椎旁肌病变可能为脊柱侧凸的继发性代偿改变[12]。另有研究发现青少年 AIS 患者的顶椎椎旁肌两侧的均方根比值与轴向躯干旋转角（axial trunk rotation，ATR）

存在相关性，ATR 越大均方根比值越大，说明 ATR 越大顶椎椎旁肌失衡越严重。Cobb 角的增加与 ATR 呈正相关，表明脊柱侧凸进展与椎旁肌失衡相关[23]。青少年 AIS 在过去被认为是一种相对良性的疾病，不会引起疼痛[24]。但 RAMIREZ[7]等发现 31.5% 的 AIS 患者会出现腰背痛。腰背痛可能是椎旁肌失衡及疲劳或椎间孔狭窄等因素所致[8]，长期失衡的椎旁肌可出现肌肉痉挛，肌肉充血水肿形成无菌性炎症，产生下腰痛[9]。慢性

表 1　干预前后两组患者多裂肌横截面积与厚度变化比较（$\bar{x} \pm s$）

Table 1　Comparison of the changes in cross-sectional area and thickness of the multifidus muscles before and after treatment between the two groups

组别	例数	凸侧横截面积（cm^2）				凸侧厚度（cm）				凹侧横截面积（cm^2）			
		治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值
对照组	15	3.39±0.37	3.46±0.37	-1.233	0.238	2.09±0.22	2.02±0.11	-0.587	0.567	2.56±0.31	2.56±0.32	0.654	0.524
试验组	15	3.77±0.67	3.78±0.68	-0.796	0.439	2.09±0.21	2.01±0.11	0.055	0.957	2.86±0.51	2.89±0.52	-2.828	0.013
t值		1.902	1.823			1.239	1.126			1.952	2.144		
P值		0.067	0.079			0.226	0.270			0.061	0.041		

组别	凹侧厚度（cm）				凹凸侧横截面积比				凹凸侧厚度比			
	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值
对照组	1.58±0.19	1.57±0.19	1.544	0.145	0.75±0.05	0.75±0.05	1.815	0.091	0.78±0.07	0.77±0.07	1.928	0.074
试验组	1.58±0.21	1.63±0.22	-2.684	0.018	0.76±0.04	0.77±0.05	-2.198	0.045	0.76±0.07	0.77±0.07	-2.392	0.031
t值	0.018	0.753			0.316	-0.679			0.193	0.067		
P值	0.986	0.458			0.754	0.502			0.848	0.947		

表 2　干预前后两组患者 VAS 评分及 RDQ 评分比较〔M（P_{25}，P_{75}），分〕

Table 2　Comparison of VAS scores and RDQ scores before and after treatment in both two groups

组别	例数	VAS 评分				RDQ 评分			
		治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值
对照组	15	4.0（3.0，6.0）	2.0（1.0，2.0）	12.649	<0.001	5.0（4.0，8.0）	3.0（2.0，3.0）	4.880	<0.001
试验组	15	4.0（3.0，6.0）	1.0（1.0，2.0）	12.128	<0.001	6.0（4.0，8.0）	2.0（1.0，3.0）	6.972	<0.001
t值		-0.349	-0.990			0.635	-2.141		
P值		0.730	0.332			0.531	0.041		

注：VAS= 视觉模拟量表，RDQ=Roland-Morris 腰椎功能障碍问卷。

表 3　干预前后腰椎关节活动范围 ROM 变化〔M（P_{25}，P_{75}），°〕

Table 3　Changes in range of motion of lumbar joints before and after treatment

组别	例数	前屈度				伸展度			
		治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值
对照组	15	83.0（81.0，86.0）	86.0（85.0，89.0）	-3.387	0.004	28.0（21.0，29.0）	26.0（20.0，28.0）	-4.664	<0.001
试验组	15	81.0（78.0，86.0）	90.0（87.0，90.0）	-5.953	<0.001	23.0（15.0，28.0）	28.0（26.0，30.0）	-4.897	<0.001
t值		-0.380	2.186			-0.905	1.616		
P值		0.707	0.037			0.373	0.117		

组别	左侧屈度				右侧屈度			
	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值
对照组	30.0（26.0，32.0）	33.0（28.0，35.0）	-2.555	0.023	31.0（27.0，35.0）	35.0（30.0，35.0）	-4.220	0.001
试验组	28.0（26.0，31.0）	35.0（34.0，35.0）	-6.175	<0.001	30.0（28.0，33.0）	35.0（34.0，35.0）	-5.881	<0.001
t值	-0.341	2.706			-0.200	1.603		
P值	0.736	0.011			0.843	0.120		

组别	左旋转度				右旋转度			
	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值	治疗前	治疗后	$t_{配对}$值	P值
对照组	81.0（74.0，86.0）	86.0（80.0，90.0）	-5.855	<0.001	82.0（76.0，86.0）	85.0（82.0，90.0）	-4.905	<0.001
试验组	83.0（74.0，86.0）	90.0（87.0，90.0）	-5.344	<0.001	83.0（76.0，87.0）	90.0（89.0，90.0）	-5.424	<0.001
t值	0	3.196			0.242	3.190		
P值	1.000	0.003			0.811	0.003		

表 4 治疗后多裂肌凹凸侧横截面积比、厚度比与其他临床指标的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of cross-sectional area and thickness ratios of the multifidus muscles on the concave and convex sides with other clinical indicators after treatment

治疗后凹凸侧多裂肌横截面积比			治疗后凹凸侧多裂肌厚度比		
指标	r 值	P 值	指标	r 值	P 值
治疗后 VAS 评分	-0.109	0.699	治疗后 VAS 评分	0.015	0.958
治疗后 RDQ 评分	0.161	0.565	治疗后 RDQ 评分	-0.066	0.815
治疗后前屈度	-0.467	0.079	治疗后前屈度	-0.32	0.246
治疗后伸展度	-0.332	0.227	治疗后伸展度	-0.108	0.702
治疗后左侧屈度	-0.266	0.337	治疗后左侧屈度	-0.139	0.622
治疗后右侧屈度	-0.189	0.500	治疗后右侧屈度	-0.614	0.015
治疗后左旋转度	-0.362	0.185	治疗后左旋转度	-0.104	0.712
治疗后右旋转度	-0.660	0.007	治疗后右旋转度	-0.495	0.061

腰痛可导致患者腰椎 ROM 减小，日常生活负担增加，这种负担包括用药增多，上学和工作时间缩短、不能正常活动等。近期研究表明物理治疗联合 PSSE 可有效地纠正脊柱两侧肌肉失衡，控制脊柱侧凸曲线的进展[25]。

本研究选取 Rigo E1 型患者为研究对象，其弯型特点为单腰弯向左凸右侧凹，无胸弯，顶椎位于 L_1—L_2，为躯干失衡易进展性弯型[26]。本组患者均为女性，可排除顶椎位置不同、性别不同造成多裂肌横截面积和厚度差异较大的情况；选取 Risser 征Ⅴ级无需佩戴侧凸支具患者可排除生长发育及支具对实验结果的干扰；两组患者 Cobb 角均属中度脊柱侧凸，排除侧凸严重程度的偏倚。AIS 是长期慢性疾病，侧凸对脊柱两旁椎旁肌的牵拉持续存在，其腰痛持续时间及疼痛位置较普通下腰痛更长、更深层。HLIT 的光生物学效应可增加线粒体氧化反应，增加 ATP、RNA 和 DNA 的产生，能增加血流、血管通透性和细胞代谢，相较于普通低能量激光，高能量激光可以在相对较短的时间内产生大量的能量输出，并且穿透力更深，可作用至更深层的肌肉，使深层的椎旁肌活化。

肌骨超声检查结果显示，治疗前患者俯卧静息状态下顶椎凸侧多裂肌横截面积与厚度均明显大于凹侧，与正常人相比，AIS 患者顶椎两侧多裂肌均存在萎缩现象。治疗后对照组疼痛明显减轻，但凹侧多裂肌的横截面积与与厚度没有明显变化（$P>0.05$）；试验组不仅疼痛明显减轻，且疼痛减轻效果优于对照组（$P<0.05$），凹侧多裂肌的横截面积与厚度均有明显改变（$P<0.05$），表明顶椎两旁多裂肌趋于平衡。结果可见 HILT 虽可通过机械刺激、生物刺激等方式释放内源性脑啡肽和内啡肽以抑制 Aδ 和 C 纤维的传导，控制疼痛闸门抑制游离神经末梢的机械刺激以减轻疼痛[27]，但单独使用 HILT 并不能改变多裂肌的形态，不能纠正多裂肌失衡现象，故对照组的止痛效果弱于试验组。结合前期报道，HILT 对 PSSE 具有积极的辅助意义[25]，这可能是两者联合效果更优的原因。

两组患者疼痛缓解后腰椎 ROM、RDQ 评分均有显著变化，提示腰部疼痛的减轻可提升患者的生活质量。试验组腰椎前屈、左侧屈、左右旋转活动度明显优于对照组，其原因可能是 PSSE 刺激凹侧椎旁肌使椎旁肌的形态发生改变，脂肪浸润程度减小，椎旁肌肌纤维类型发生相关变化[28]，从而使脊柱获得更优的活动功能，提升生活质量，故 RDQ 评分亦与对照组比较具有明显变化。

对试验组治疗后多裂肌凹凸侧横截面积比、厚度比与试验相关结果进行 Pearson 相关性分析，发现双侧多裂肌失衡程度与腰椎右侧屈、右旋转功能具有相关性，提示患者的椎旁肌失衡程度与腰椎右侧屈，旋转功能活动相关。治疗后试验组多裂肌凹凸侧横截面积比与腰椎右旋转具有相关性，证明多裂肌肌纤维增粗、增多可改善腰椎的旋转程度；多裂肌厚度比与腰椎右侧屈具有相关性，其原因可能与 RigoE1 型的弯型特点有关，其临床体征为骨盆移向腰凹侧，躯干不平衡且重心在腰凸侧；治疗后因凹侧椎旁肌的厚度增加，脊柱侧屈运动功能增加，故右侧屈活动范围增加；值得一提的是，SBIHLI 等[29]发现 PSSE 可控制成人中度脊柱侧凸的进展，改善其生活质量；尽管本研究结果显示多裂肌横截面积与厚度参数与生活质量、疼痛评分并无不相关，但于预后椎旁肌获得平衡，腰椎活动功能改善可能是疼痛获得缓解的潜在的原因，这也提升了患者的生活质量。

综上所述，HILT 联合 PSSE 可使脊柱侧凸顶椎凹侧多裂肌形态发生改变，减轻腰部疼痛，增加腰椎 ROM 及降低腰椎功能障碍，提高日常生活能力；单独使用 HILT 虽对多裂肌形态变化影响不明显，但可有效缓解脊柱侧凸引起的下腰痛。但本实验尚有不足之处，因入组样本量过小，随访追踪时间较短，未对脊柱侧凸 ATR 角等改变情况进行统计研究，待未来治疗中进一步进行实验探究。

作者贡献：孙晓蕾、张晓辉提出研究思路，设计研究方案；孙晓蕾负责进行实验，样本采集、进行治疗实验、随访、撰写论文；雷晓龙负责数据收集、肌骨超声样本采集；林佳声负责招募受试者并对治疗效果做出评价并监督实验过程；孙晓蕾、李克良负责统计学分析并进行图标绘制；郭澳负责文章最终校对及细节修改；张晓辉负责文章的质量控制与审查，对文章整体负责，监督管理。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] MAHAUDENS P，BANSE X，MOUSNY M，et al. Gait in adolescent idiopathic scoliosis：kinematics and electromyographic analysis［J］.

Eur Spine J，2009，18（4）：512-521. DOI：10.1007/s00586-009-0899-7.

［2］CHOUDHRY M N，AHMAD Z，VERMA R. Adolescent idiopathic scoliosis［J］. Open Orthop J，2016，10：143-154. DOI：10.2174/1874325001610010143.

［3］WONG C. Mechanism of right thoracic adolescent idiopathic scoliosis at risk for progression；a unifying pathway of development by normal growth and imbalance［J］. Scoliosis，2015，10：2. DOI：10.1186/s13013-015-0030-2.

［4］邱丹，何辉，熊开宇，等. 青少年椎旁肌耐力及左右侧对称性测评指标和方法的建立［J］. 中国组织工程研究，2020，24（14）：2197-2204.. DOI：10.3969/j.issn.2095-4344.2582

［5］STEVENS S，AGTEN A，TIMMERMANS A，et al. Unilateral changes of the multifidus in persons with lumbar disc herniation：a systematic review and meta-analysis［J］. Spine J，2020，20（10）：1573-1585. DOI：10.1016/j.spinee.2020.04.007.

［6］GAO A，LI J Y，SHAO R，et al. Schroth exercises improve health-related quality of life and radiographic parameters in adolescent idiopathic scoliosis patients［J］. Chin Med J（Engl），2021，134（21）：2589-2596. DOI：10.1097/CM9.0000000000001799.

［7］RAMIREZ N，JOHNSTON C E II，BROWNE R H. The prevalence of back pain in children who have idiopathic scoliosis［J］. J Bone Jt Surg，1997，79（3）：364-8. DOI：10.2106/00004623-199703000-00007.

［8］AGABEGI S S，KAZEMI N，STURM P F，et al. Natural history of adolescent idiopathic scoliosis in skeletally mature patients：a critical review［J］. J Am Acad Orthop Surg，2015，23（12）：714-723. DOI：10.5435/JAAOS-D-14-00037.

［9］（美）菲尔·佩治，（美）克莱尔 C. 弗兰克，（美）罗伯特·拉德纳著［M］. 焦颖译. 肌肉失衡的评估与治疗：扬达治疗法，北京：人民体育出版社，2016.

［10］CHOI H W，LEE J，LEE S Y，et al. Effects of high intensity laser therapy on pain and function of patients with chronic back pain［J］. J Phys Ther Sci，2017，29（6）：1079-1081. DOI：10.1589/jpts.29.1079.

［11］NEGRINI S，DONZELLI S，AULISA A G，et al. 2016 SOSORT guidelines：orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth［J］. Scoliosis Spinal Disord，2018，13：3. DOI：10.1186/s13013-017-0145-8.

［12］张晓辉，韩晓峰，廖八根. 肌骨超声评估支具干预对 Rigo E 型青少年特发性脊柱侧凸椎旁软组织形态学的影响［J］. 临床超声医学杂志，2022，24（8）629-634. DOI：10.3969/j.issn.1008-6978.2022.08.018　ZHANG X H，HAN X F，LIAO B G. Evaluation of the effect of brace intervention on paravertebral soft tissue morphology in adolescent idiopathic scoliosis patients with Rigo E by musculoskeletal ultrasound［J］. Journal of Clinical Ultrasound in Medicine，2022，24（8）629-634. DOI：10.3969/j.issn.1008-6978.2022.08.018

［13］WEINSTEIN S L，DOLAN L A，CHENG J C，et al. Adolescent idiopathic scoliosis［J］. Lancet，2008，371（9623）：1527-1537. DOI：10.1016/s0140-6736（08）60658-3.

［14］ALAYAT M S M，ATYA A M，ALI M M E，et al. Correction to：long-term effect of high-intensity laser therapy in the treatment of patients with chronic low back pain：a randomized blinded placebo-controlled trial［J］. Lasers Med Sci，2020，35（1）：297. DOI：10.1007/s10103-019-02926-x.

［15］陈彦求. 基于 Vicon 三维动作捕捉技术与表面肌电介导的 AIS 矫正动作评估与分析［D］. 广州：广州体育学院.

［16］杨红杰，乔文菲，董胜利. 功能性康复训练结合矫形器对青少年特发性脊柱侧弯患者 Cobb 角、腰部活动范围的影响［J］. 内蒙古医学杂志，2021，53（10）：1163-1166. DOI：10.16096/J.cnki.nmgyxzz.2021.53.10.004.

［17］李超，张佩佩，徐朦婷，等. 肌骨超声评价呼吸训练改善慢性非特异性下背痛患者多裂肌的形态学改变［J］. 中国组织工程研究，2023，27（9）1417-1421

［18］GRAINGER A J. Highlights of the European Society of Musculoskeletal Radiology（ESSR）annual meeting 2010［J］. Skeletal Radiol，2011，40（1）：137-139. DOI：10.1007/s00256-010-1030-1.

［19］李宏彦，宋俊. 核心稳定性训练治疗椎间盘源性下背痛的疗效观察［J］. 中华物理医学与康复杂志，2018，40（7）535-537. DOI：10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.07.016

［20］赵群. 腰椎间盘突出症术后复发患者的腰痛功能障碍评估［D］. 苏州：苏州大学.

［21］BRESNAHAN L，FESSLER R G，NATARAJAN R N. Evaluation of change in muscle activity as a result of posterior lumbar spine surgery using a dynamic modeling system［J］. Spine，2010，35（16）：E761-E767. DOI：10.1097/brs.0b013e3181e45a6e.

［22］MODI H N，SUH S W，YANG J H，et al. Spontaneous regression of curve in immature idiopathic scoliosis - does spinal column play a role to balance? An observation with literature review［J］. J Orthop Surg Res，2010，5：80. DOI：10.1186/1749-799X-5-80.

［23］袁望舒，陈丽霞，沈建雄，等. 青少年特发性脊柱侧凸患者顶椎椎旁肌表面肌电信号与 Cobb 角及轴向躯干旋转角的相关性［J］. 中国组织工程研究，2019，23（24）3824-3828. DOI：10.3969/j.issn.2095-4344.1223

［24］［Adolescent idiopathic scoliosis］［J］. Arch Argent Pediatr，2016，114（6）：585-94.

［25］孙晓蕾，张晓辉，林佳声，等. 器具辅助松解结合特定运动治疗 RigoA 型脊柱侧凸：改善躯干旋转角及减轻背部疼痛［J］. 中国组织工程研究，2023，27（18）：2871-2877.

［26］张晓辉，廖八根，曾利泉，等. 青少年特发性脊柱侧凸 Rigo 分型的描述及信度检验［J］. 中国康复医学杂志，2020，35（6）694-699. DOI：10.3969/j.issn.1001-1242.2020.06.009

［27］ABDELBASSET W K，NAMBI G，ALSUBAIE S F，et al. A randomized comparative study between high-intensity and low-level laser therapy in the treatment of chronic nonspecific low back pain［J］. Evid Based Complement Alternat Med，2020，2020：1350281. DOI：10.1155/2020/1350281.

［28］尹佳. 青少年特发性脊柱侧凸椎旁肌肌纤维转化及机制研究［D］. 中国人民解放军海军军医大学.

［29］SBIHLI A，TUDINI F，CHUI K. Adult patient perceptions on the effectiveness of scoliosis specific exercises［J］. Stud Health Technol Inform，2021，280：199-203. DOI：10.3233/SHTI210467.

（收稿日期：2023-02-27；修回日期：2023-04-12）

（本文编辑：宋春梅）